



ZINTEGROWANY SYSTEM MONITOROWANIA MIEJSCA UDERZENIA BALISTYCZNYCH POCISKÓW ARTYLERYJSKICH I RAKIET

INTEGRATED SYSTEM FOR SPOTTING THE FALLS OF BALLISTIC ARTILLERY SHELLS AND MISSILES

Janusz WEISS

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka
Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszynski St., 05-220 Zielonka, Poland
Auhtor's e-mail address: weissj@witu.mil.pl

Józef GRZYBOWSKI

Politechnika Rzeszowska, ul. Aleja Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
Rzeszow Technical University, 12 Aleja Powstancow Warszawy St., 35-959 Rzeszow, Poland
Auhtor's e-mail address: jozef.grzybowski@pilc.pl

DOI 10.5604/01.3001.0012.6807

Streszczenie: System monitorowania miejsca uderzenia pocisków artyleryjskich charakteryzuje się tym, że pole rażenia pociskami w rejonie strzelań jest wyposażone w detektory, z których każdy posiada mikrokomputer jednocukładowy z lokalizatorem GPS, interfejsem komunikacji radiowej oraz redundantnym źródłem zasilania, przy czym są one zlokalizowane w odległościach nie większych niż 50 m między sobą na ziemi a 100 m na wodzie. W związku z tym, w rejonie tego pola usytuowany jest nadajnik transmisji danych, natomiast na stanowisku kierowania (dowodzenia) i oceny wyników strzelania znajduje się odbiornik transmisji danych oraz komputer z oprogramowaniem wizualizującym miejsca uderzenia pocisków. Na podstawie analizy danych otrzymywanych z detektorów w postaci skompresowanych rekordów informacji cyfrowej, oprogramowanie nadzorujące odtwarza zdarzenie i jego miejsce a następnie lokalizuje je na obrazie obszaru prezentowanym na monitorze w czasie rzeczywistym. Na podstawie otrzymanych danych będzie możliwość weryfikacji i oceny wykonywanych zadań ogniowych.

Słowa kluczowe: system, lokalizacja, detekcja uderzenia.

1. Wstęp

System monitorowania miejsca uderzenia pocisków balistycznych w czasie poligonowych strzelań artyleryjskich bazuje na pociskach ela-

Abstract: A system monitoring the falls of artillery projectiles within the area of live firings consists of detectors, separated by distances no larger than 50 m in the ground and 100 m in water, having a single core microcomputer with GPS localiser, radio link interface and a powering battery. For this reason a data transmitter is placed near the area and a receiver of transferred data and a computer with the software for visualisation of projectile impact sites is placed on a centre for controlling (commanding) and evaluating the results of firing. The managing software reconstructs an event and its position and displays it in the real time into the picture of the area shown on the monitor by analysing the data received from detectors in the form of compressed records of digital data. The received data can be used for verification and evaluation of performed firing assignments.

Keywords: system, localisation, impact detection.

1. Introduction

A system monitoring the places of falling for ballistic projectiles during the range artillery firings is designated for

borowanych obojętnie, w których w miejsce materiału wybuchowego zastosowana jest substancja obojętna, a parametry lotu są analogiczne do pocisku bojowego. Dotychczas monitorowanie miejsca uderzenia pocisku jest prowadzone z punktu obserwacyjnego usytuowanego w bezpiecznej odległości od pola jego rażenia, przy czym strzelanie musi się odbywać z zastosowaniem pocisków bojowych stwarzających widoczny z dużej odległości wybuch, a w miejscu uderzenia powstaje lej. Ocena jakości strzelania jest dokonywana na podstawie tych obserwacji i śladów uderzenia.

Zastosowanie systemu elektronicznego monitorowania miejsca uderzenia pocisków elaborowanych obojętnie, a przez to wyeliminowanie amunicji bojowej podczas ćwiczeń poligonowych i precyzyjna detekcja miejsca uderzenia pocisku daje następujące korzyści:

- 1) podniesienie poziomu bezpieczeństwa na etapie produkcji poprzez zastosowanie pocisków elaborowanych obojętnie do ćwiczeń poligonowych,
- 2) podniesienie poziomu bezpieczeństwa na etapie przygotowania i prowadzenia ćwiczeń poligonowych,
- 3) podniesienie poziomu bezpieczeństwa poprzez wyeliminowanie niebezpiecznych niewybuchów,
- 4) podniesienie poziomu bezpieczeństwa przez możliwość prowadzenia ćwiczeń poligonowych bez zagrożenia pożarowego,
- 5) możliwość strzelania amunicją stabilizowaną żyroskopowo nad terenami cywilnymi na duże odległości,
- 6) ochrona środowiska zwłaszcza organizmów żywych, które w czasie strzelań amunicją bojową mogą być ranione lub zabite,
- 7) ekologiczność systemu poprzez wyeliminowanie toksycznych substancji uwalnianych do środowiska w momencie wybuchu materiału wybuchowego,
- 8) ekologiczność systemu poprzez wyeliminowanie odłamków,
- 9) ekologiczność systemu poprzez możliwość odzysku korpusów pocisków i recyklingu materiału,
- 10) ekologiczność systemu poprzez ponowne wykorzystanie substancji wypełniającej pocisk elaborowany,
- 11) ekologiczność systemu poprzez wyeliminowanie pocisków z materiałem wybuchowym, a także pocisków z materiałem obojętnym, które w miejscu uderzenia powstaje lej, a nie wybuch, a w miejscu uderzenia powstaje lej.

the shells filled with an inert stuff replacing the explosive material and securing the flying characteristics identical with the live shell. Up to now the place of falling for a shell is monitored from an observation position situated at a safe distance from its killing zone as the firing is carried out by using the live projectiles producing the explosion and a crater visible at a large distance in the place of impact. Results of firing are assessed on the base of these observations and traces of impacts.

Application of an electronic system monitoring the points of impact for the shells which are filled with inert material eliminates the live ammunition at range trainings and shows precisely a place of projectile impact and is also beneficial for following reasons:

- 1) Increase of safety at production by using the inertly filled projectiles for range trainings.
- 2) Increase of range trainings safety at the stages of preparation and running.
- 3) Increase of safety by elimination of hazardous duds.
- 4) Increase of range trainings safety by elimination of fire threats.
- 5) Possibility for firing long range ammunition stabilised by gyroscope effect over civilian areas.
- 6) Protection of environment and especially live organisms which may be hurt or killed at firing live ammunition.
- 7) Ecological system eliminating toxic substances released into the environment at the explosion.
- 8) Ecological system eliminating the fragments left on the range.
- 9) Ecological system providing the recovery of shells and recycling of material.
- 10) Ecological system enabling a repeated use of the material filling the elaborated shell.
- 11) Ecological system eliminating the noise of shell detonation.
- 12) Computerised documentation of

- nowanie hałasu z wybuchu pocisku,
- 12) dokumentowanie komputerowe jakości strzelań w czasie rzeczywistym i archiwizacja ich wyników,
 - 13) obniżenie kosztów ćwiczeń poligonowych,
 - 14) możliwość stosowania takiego systemu na ziemi i na wodzie.

Dodatkowe korzyści wynikają z zastosowanego systemu informatycznego, którego oprogramowanie zapewnia wizualizację obszaru z miejscami uderzenia pocisków, archiwizację danych oraz z możliwości uwzględnienia specjalnych wymagań użytkownika. Artykuł prezentuje koncepcję systemu, jego strukturę i sposób działania, konstrukcję detektora oraz pokazuje wyniki badań układów prototypowych i szczegóły konstrukcyjne.

2. Struktura systemu monitorowania

Wykrycie miejsca uderzenia pocisku bazuje na zespole specjalnych detektorów mikrokomputerowych z lokalizatorem GPS i interfejsem komunikacji radiowej. Detektory lokalizacji uderzenia pocisku, między innymi pocisku artyleryjskiego, umieszczone w odpowiednich punktach obszaru strzelań posiadają rdzeń z przetwornikami przyspieszenia wbity w podłoże. Detektory uderzenia pocisku rozmieszczone są regularnie w obszarze ostrzału, jak pokazuje rysunek 1. Każdy z detektorów [1] posiada trójosiowy przetwornik przyspieszenia MEMS, mierzący poziom sygnału sejsmicznego wywołanego uderzeniem pocisku. Na podstawie analizy widma sygnału uderzenia oraz pomiaru interwału czasu od chwili uderzenia pocisku do impulsu referencyjnego z odbiornika GPS procesor detektora wytwarza raport wysyłany interfejsem radiowym do koncentratora i nadajnika transmisji danych. Nadajnik transmisji danych [2] przesyła zbiorczą informację od wszystkich aktywnych detektorów tworząc rekord danych. Każdemu rekordowi danych przyporządkowany jest kod cyfrowy, który z parametrami identyfikacyjnymi detektorów i poziomami sygnałów wysyłany jest bezpośrednio do bazy z odbiornikiem danych [3] i przyłączonym komputerem osobistym [4] z oprogramowaniem nadzorującym. Na podstawie analizy danych otrzymany z detektorów w postaci

firing effects in real time and archiving the results.

- 13) Reduction of costs for range trainings.
- 14) Possibility for using the system both on the ground and water.

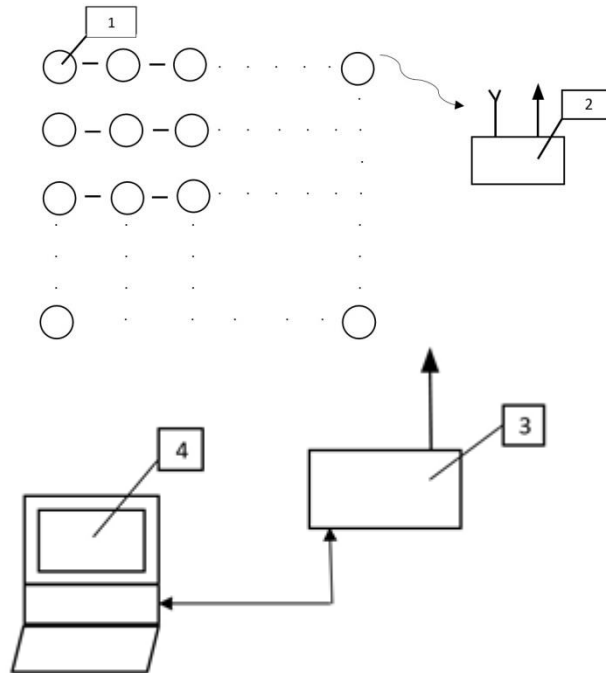
Additional advantages are caused by the deployment of informative system with the software providing the visualisation of the site and the spots of shells impacts, the archiving of data and the fulfilment of special requirements of users. The paper presents a concept of the system, its structure and operation, the design of detector and it shows the results of tests for prototype units and some details of designs.

2. Structure of Monitoring System

The spotting of projectile impact place is based on a set of special microcomputer detectors with GPS localisers and radio link interfaces. Detectors of projectile impact, including the artillery shells, are placed at specific points of the firing area and have a bar with an acceleration sensor driven into the ground. Projectile impact detectors are arranged in regular pattern across the area of firing what illustrates figure 1. Each detector [1] has a three axial acceleration converter MEMS for measuring the level of acceleration signal caused by the shell's impact. Processor of the detector produces a report on the basis of the impact signal spectrum analysis and the measurement of time interwall between the shell moment of impact and the reference pulse from the GPS receiver, that is sent via radio interface to a concentrator and data transmitter. The data transmitter [2] sends the summarised information from all active detectors creating a data record. Each data record has an assigned digital code which together with detector identifying parameters and levels of signals is transferred directly to a centre containing a data receiver [3] and a personal computer [4] with monitoring software. The analysis of data received from the detectors in the form of compressed records

skompresowanych rekordów informacji cyfrowej, komputer nadzorujący wylicza pozycję uderzenia pocisku, wizualizując miejsce uderzenia na monitorze. Jednocześnie oprogramowanie nadzorujące archiwizuje zdarzenie umożliwiając ponowną analizę strzelań w trybie "OFF LINE".

of digital information is the base for the monitoring computer to calculate positions of the shell impacts and presenting it on the monitor. At the same time the management software stores the event in archives for repeated analyses of firings in "OFF LINE" mode.

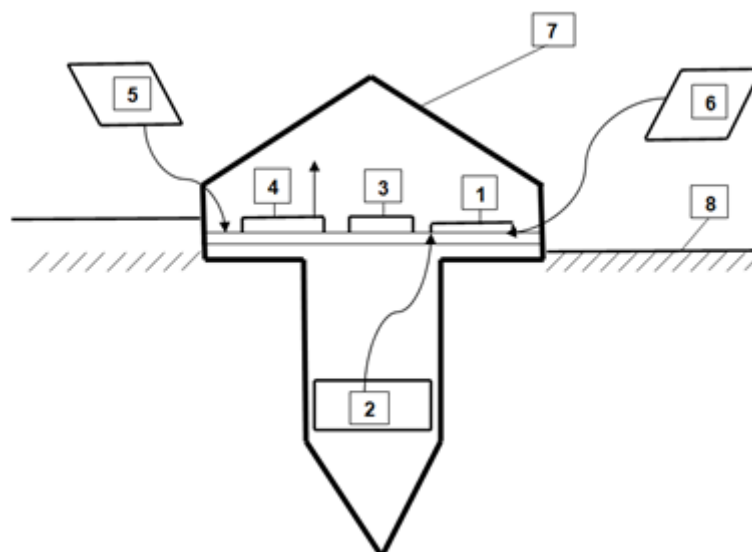


Rys. 1. Komplekcja systemu monitorowania uderzenia pocisków

Fig. 1. Arrangement of the projectile impact monitoring system

Detektor którego schemat blokowy pokazuje rysunek 2 bazuje na przeliczniku [1] z mikrokomputerem jednoukładowym klasy ARM, do którego przyłączone są: trzyosiowy przetwornik przyspieszenia [2], odbiornik GPS [3], moduł radiowy nadawania i odbioru danych [4]. Detektor zasilany jest z ogniwa paliwowego lub opcjonalnie akumulatora ładowanego z dwóch niezależnych ogniw słonecznych [5] [6]. Całość umieszczona jest w obudowie [7], której element z przetwornikiem przyspieszenia umieszczony jest w ziemi lub wodzie zapewniając detekcję fali sejsmicznej po uderzeniu pocisku.

The detector, with the block diagram shown in figure 2, is based on a one unit microprocessor converter [1] of ARM class working with the three - axial acceleration converter [2], GPS receiver [3] and radio module for data transfer [4]. The detector is powered by a fuel cell or optionally by a battery charged from two independent solar cells [5], [6]. These parts are imbedded in casing [7] and its fragment including the acceleration converter is stuck into the ground or emerged into the water to provide detection of a seismic wave after the projectile impact.



Rys. 2. Schemat blokowy detektora uderzenia pocisku

Fig. 2. Block diagram of the projectile impact detector

Korzyść z zastosowania takiego detektora wynika z jego bezobsługowej pracy, zastosowanie ogniw słonecznych uniezależnia detektor od wymiany źródła zasilania, a sposób wykonania i hermetyzacja układów elektronicznych uniezależniają od czynników atmosferycznych. Detektor może współpracować z innymi detektorami umieszczonymi na badanym obszarze poprzez posiadane łącze radiowe celem podniesienia precyzji pomiaru miejsca uderzenia.

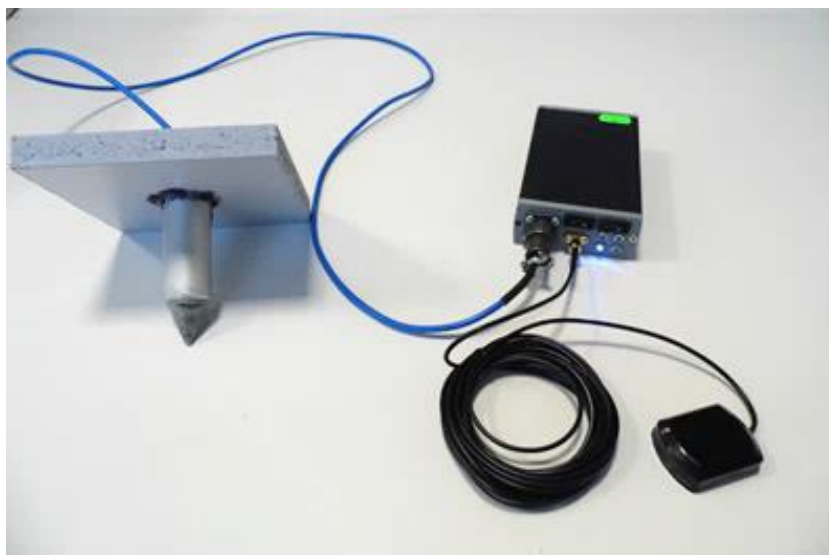
3. Badania detekcji systemu monitorowania

Badania polegały na zmierzeniu wibracji powstałych w wyniku uderzenia pocisku o kalibrze 120 mm w ziemię. Na pierwszym etapie badań wykorzystano przyspieszoniomierze trójosiowe o zakresie pomiarowym ± 2 G oraz rejestratory wielkości analogowych o zsynchronizowanej podstawie czasu z odborników GPS. Fotografia 1 pokazuje jeden z rejestratorów z przyłączonym trójosiowym przyspieszoniomierzem i odbornikiem GPS. Rejestracja przyspieszeń z próbkowaniem 1kHz zapisywana była indywidualnie dla każdego detektora na karcie SD.

The application of the detector is beneficial as it operates without maintenance and the use of solar batteries makes it does not depend on replacement of a powering source, and moreover the workmanship and sealing of electronic units makes it does not depend on atmospheric conditions. The detector may work together with other detectors of the area through the imbedded radio links to increase the accuracy of measurement for impact spots.

3. Detection Tests for Monitoring System

Tests were based on measuring the vibrations generated at the impact of 120 mm shell into the ground. At the first stage of tests three - axial accelerometers were used on the measurement range $\pm 2G$ with the recorders of analogue signals having the time axis synchronised with the GPS receivers. One of the recorders with attached three - axial accelerometer and GPS receiver are shown in photo 1. The accelerations were sampled at the rate of 1kHz and individually recorded for each detector on a SD card.



Fot. 1. Kompletacja rejestratora do badań uderzeń pocisków
Photo 1. Parts of the recorder for testing impacts of projectiles

Do badań użyto 3 pociski. Po wystrzeleniu pierwszego odmierzone odległości 10m, 25 m i 50 m od miejsca uderzenia pocisku, w których umieszczono czujniki pomiarowe wraz z rejestratorami. Osie czujników zostały zorientowane następująco: oś X zgodnie z kierunkiem lotu pocisku, oś Y prostopadłe do kierunku lotu pocisku, oś Z pionowo w kierunku ziemi. Drugi strzał był niecelny. Do analizy danych poddano jedynie trzeci strzał, podczas którego pocisk uderzył w oczekiwaną odległość od czujników. Zamieszczone poniżej wykresy pokazują wyniki rejestracji sygnałów przyspieszeniemierzem trójosiowym.

Maksymalny poziom sygnału odpowiadający zakresowi napięcia 3V rejestrowany był z rozdzielczością 12 bit. Przedstawiona na wykresach i w tabelach amplituda odpowiada wartości binarnej przetwornika.

Oś odciętych pokazuje czas w kolejnych sekundach rejestracji. Podczas analizy danych obliczano maksymalną amplitudę sygnału, oraz odchylenie standardowe sygnału przed i podczas uderzenia pocisku dla każdego z czterech detektorów.

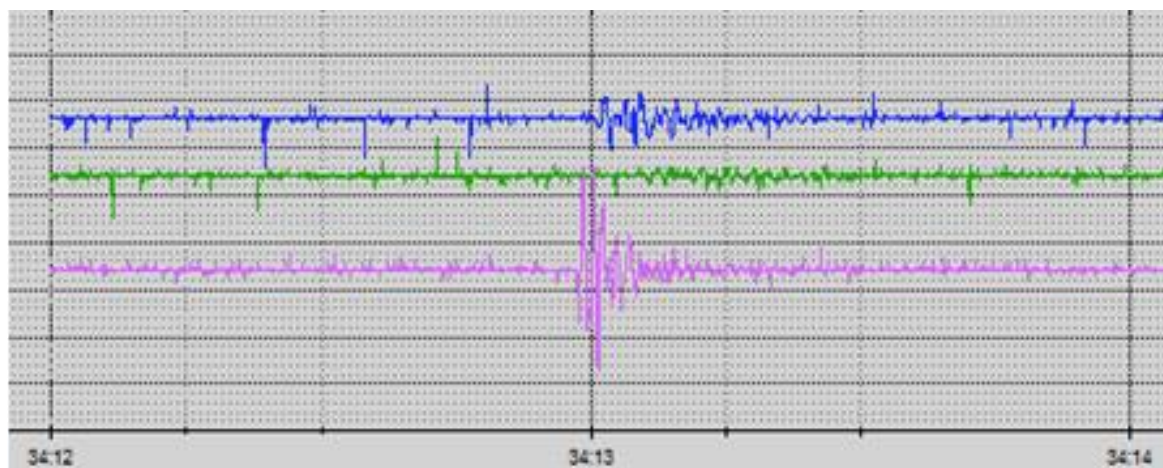
Na rysunku 3 przedstawiono przebieg sygnałów z czujników przyspieszenia w osi X. Kolor różowy – dane z czujnika w odległości 10 m, kolor niebieski – dane z czujnika w odległości 25 m, kolor zielony – dane z czujnika w odległości 50 m.

Three projectiles were used for testing. After firing the first projectile the distances of 10 m, 25 m and 50 m from the projectile impact place were measured to put there the measurement sensors with the recorders. The coordinates of sensors were oriented in a following way: X axis in line with the projectile flying path, Y axis perpendicularly to the projectile trajectory and Z axis vertically to the ground surface. Second shot was inaccurate. Only the data of a third shot has been analysed as the projectile fell in expected distance from the sensors. The plots presented below show the results of recording the signals by a three - axial accelerometer.

The maximal level of signal corresponding to voltage of 3V was recorded with resolution of 12 bits. The amplitude presented in plots and in tables corresponds to the converter binary value.

The axis of abscises shows the time for successive seconds of recording. Maximal amplitude of the signal, its standard deviation before and after the impact of the shell were calculated for each of four detectors at data analysis.

Figure 3 shows the signals from acceleration sensors in axis X. Data from sensor placed at 10 m distance is in pink colour, at 25 m distance in blue colour and at 50 m in green colour.



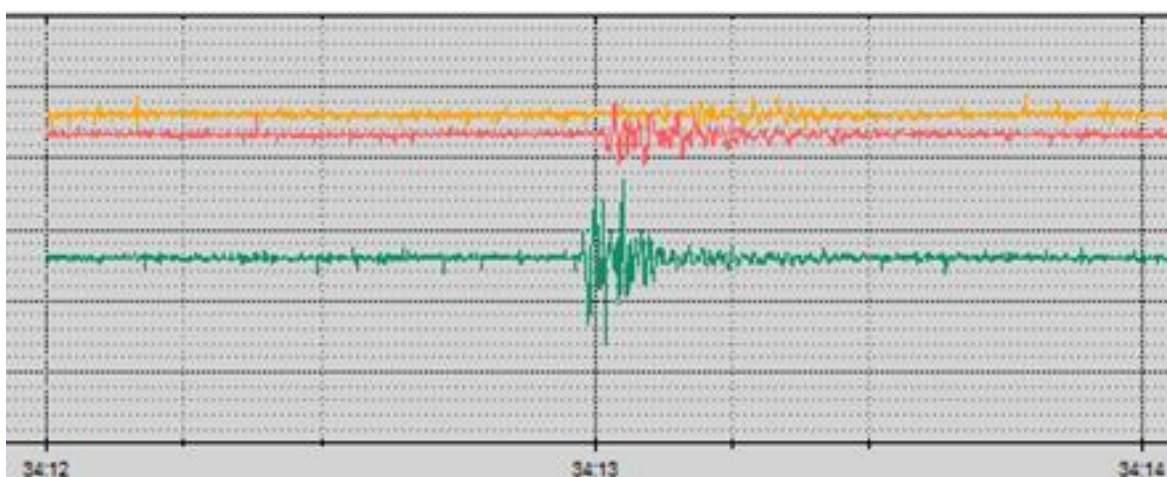
Rys. 3. Wykresy przyśpieszeń – oś X
Fig. 3. Plots of accelerations – axis X

Dane liczbowe z rys. 3 przedstawiono w tabeli 1.

Table 1 presents numerical data from figure 3.

Tabela 1 / Table 1

Lp./ No.	Odległość/ Distance	Maksymalna amplituda/ Maximal amplitude	Odchylenie standardowe sy- gnału – przed uderzeniem/ Signal standard deviation – before impact	Odchylenie standardowe sygnału – podczas uderzenia/ Signal standard deviation – at the impact
1	10 m	214,0	9,2	60,2
2	25 m	62,0	3,4	16,0
3	50 m	20,0	3,2	7,1



Rys. 4. Wykresy przyśpieszeń – oś Y
Fig. 4. Plots of accelerations – axis Y

Na rysunku 4 pokazane są przyspieszenia zarejestrowane w osi Y. Kolor zielony – dane z czujnika w odległości 10 m, kolor czerwony – dane z czujnika w odległości 25 m, kolor pomarańczowy – dane z czujnika w odległości 50 m.

Odpowiadająca wykresom z rysunku 4, tabela 2 przedstawia liczbowo zależności dla wyników rejestracji w osi Y.

Figure 4 shows the accelerations recorded in axis Y. Data from sensor placed at 10 m distance is in red colour, at 25 m distance in blue colour and at 50 m in green colour.

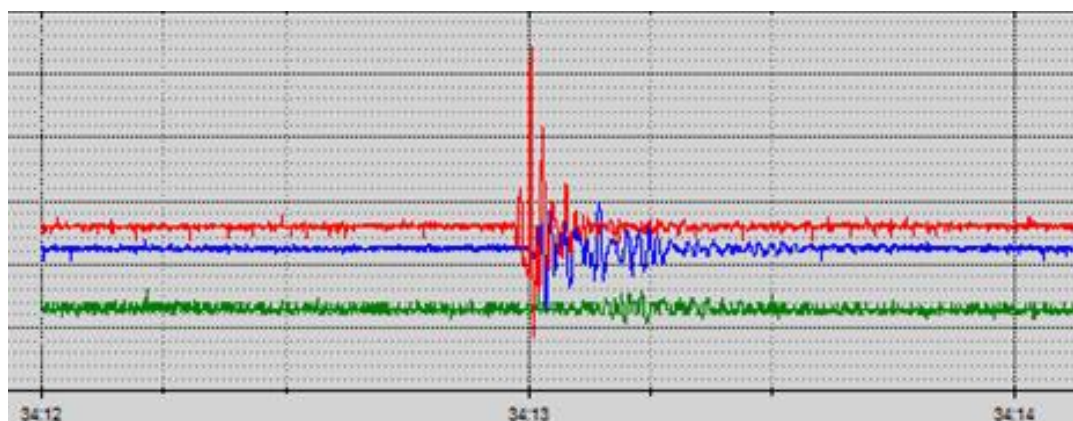
Table 2 presents numerical data for recorded results in axis Y shown in figure 4.

Tabela 2 / Table 2

Lp./ No	Odległość/ Distance	Maksymalna amplituda/ Maximal am- plitude	Odchylenie standardowe sy- gnału – przed uderzeniem/ Signal standard deviation – before impact	Odchylenie standardowe sygnału – podczas uderzenia/ Signal standard deviation – at the impact
1	10 m	115,0	4,3	23,4
2	25 m	44,0	1,2	12,0
3	50 m	19,0	1,6	2,1

Na rysunku 5 pokazane są przyspieszenia zarejestrowane w osi Z. Kolor czerwony – dane z czujnika w odległości 10 m, kolor niebieski – dane z czujnika w odległości 25 m, kolor zielony – dane z czujnika w odległości 50 m.

Figure 5 shows the accelerations recorded in axis Z. Data from sensor placed at 10 m distance is in red colour, at 25 m distance in blue colour and at 50 m in green colour.



Rys. 5. Wykresy przyspieszeń – oś Z

Fig. 5. Plots of accelerations – axis Z

Kolejna odpowiadająca wykresom z rysunku 5, tabela 3 przedstawia liczbowo zależności dla wyników rejestracji w osi Z.

Wykonanie badań z rejestracją parametrów uderzenia umożliwiło realizację kolejnego etapu budowy systemu monitorowania. Odchylenie standardowe wyliczane jest z 25 kolejnych próbek z czujnika przyspieszenia (próbki reprezentują przyspieszenie odpowiednio w danej osi,

The next table 3 represents numerical dependencies of results recorded along the axis Z and presented in figure 5.

Tests on recording impact characteristics allowed to carrying out a next stage of building the monitoring system. Standard deviation is calculated for 25 successive samples from acceleration sensor (the samples represent the acceleration in a respective axis, the

częstotliwość próbkowania wynosi 1kHz). Malejąca amplituda sygnałów dla większych odległości miejsca uderzenia i pozycji sensora wynika z dyssypacji energii uderzenia i zależy od propagacji sygnału w gruncie. Niejednorodność gruntu, szczeliny powietrzne, wilgoć są czynnikami zmieniającymi amplitudy sygnałów. Dla poprawy właściwości systemu wykorzystywany jest referencyjny impuls czasu odbiornika GPS wspólny dla wszystkich detektorów umożliwiający obliczenie opóźnień impulsu uderzenia względem otaczających detektorów.

rate of sampling is 1kHz). Decrease of signals amplitude at greater distances between the impact place and sensor's position is caused by the dissipation of hitting energy and depends on the propagation of the signal in the soil. Any soil inhomogeneities, air rifts and moisture affect the amplitude of signals. In order to improve the system performance a GPS receiver reference time impulse common for all detectors is used to calculate the delays of the impact pulse against surrounding detectors.

Tabela 3 / Table 3

Lp./ No	Odległość/ Distance	Maksymalna amplituda/ Maximal am- plitude	Odchylenie standardowe sy- gnału – przed uderzeniem/ Signal standard deviation – before impact	Odchylenie standardowe sygnału – podczas uderzenia/ Signal standard deviation – at the impact
1	10 m	228,0	4,2	61,0
2	25 m	80,0	1,1	16,7
3	50 m	24,0	2,1	4,6

4. Badania układów transmisji danych systemu monitorowania

Następny etap budowy systemu monitorowania polegał na wykonaniu czterech detektorów w wersji prototypowej, zawierających podstawowe elementy detektora z rysunku 2, zasilanych z ogniw o napięciu 5V.

4. Testing Data Transmission Units for Monitoring System

The next stage for designing the system of monitoring was based on preparation of four prototype detectors consisting of detector's basic components shown in Fig. 2 and powered by 5V batteries.



Fot. 2 Widok detektora sygnału uderzenia (po lewej stronie) oraz jego umocowanie w punkcie pomiarowym (po prawej)

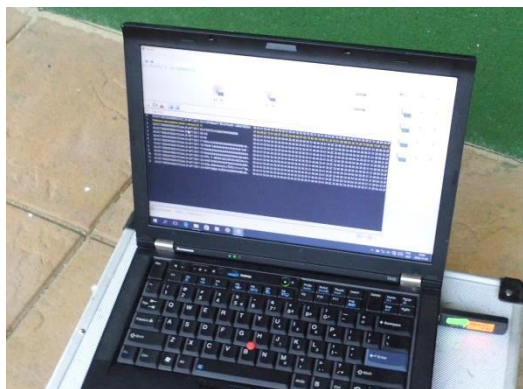
Photo 2. View of an impact signal detector (on the left side) and its fixing in the measurement point (on the right)

Na fotografii 2 pokazany jest detektor i detektor z obciążeniem 100 N.

Ten etap badań nakierowany był na sprawdzenie algorytmów wykrywania momentu uderzenia pocisku i poprawności wysyłania raportów do nadajnika danych. W tym celu przygotowany został obszar badań, w którym symulowane zostały uderzenia pocisków poprzez wyrzucanie bloku granitowego o masie 20 kg. Cztery detektory umieszczone zostały na powierzchni ziemi w narożnikach kwadratu o boku 10 m i przykryte obciążeniem. Lokalne nadajniki detektorów mają zasięg ok 100 m, dlatego dodatkowo kontrolowana była transmisja z tych nadajników do nadajnika danych poprzez dodatkowy komputer z interfejsem radiowym odbierającym raporty z detektorów. Fotografia 3 pokazuje przechwytywane raporty danych z detektorów pojawiające się po wykryciu uderzenia pocisku oraz zdjęcie koncentratora danych z nadajnikiem danych. Kontrola wykrywania uderzenia prowadzona była bezpośrednio przez podgląd przesyłanych raportów. Przykład raportu z detektorów pokazuje rysunek 6, przy nagłówku z identyfikatorem detektora informacja o czasie wysłania raportu.

Photo 2 shows the detector and the detector loaded by 100N.

This stage of testing was focused on checking the algorithms for detection of projectile impact moment and the correctness of sending the reports for data transmitter. For this reason the testing site was prepared to simulate the impacts of shells by dropping a 20 kg granite stone. Four detectors were placed at the corners of the square with 10 m side and covered by the loads. Local transmitters of detectors have the range of ca. 100 m so the transmission from these transmitters to the data transmitter was additionally controlled by an extra computer with the radio interface receiving the reports from detectors. Photo 3 shows the intercepted data reports from detectors after detection of projectile impact and a picture of the data concentrator with data transmitter. Detection was checked directly through the inspection of transferred reports. An example of a report from detectors is shown in Fig. 6 where the information about the time of sending the report is at the detector identifying heading.



Fot. 3. Widok (po lewej stronie) kontroli pracy detektorów przez podgląd wysyłanych rekordów, obok koncentratora danych z nadajnikiem do stacji kierowania

Photo 3. A view (on the left) of checking the operation of detectors by inspecting the sent records and beside a data concentrator with the transmitter to the control station is shown

Odebrane raporty z detektorów przechwytywane są przez procesor nadajnika danych, którego zadaniem jest kompresja danych i wysłanie rekordu danych łączem radiowym długodystansowym do odbiornika stacji kierowania. Ten element systemu pokazuje fotografia 4.

Processor of the data transmitter intercepts the received reports from detectors to compress the data and send the data record via long range radio link to the receiver of control station. This fragment of the system is shown in photo 4.

zwalających na opracowanie danych statystycznych zwłaszcza dla różnych warunków propagacji fali sejsmicznej.

5. Wnioski

Artykuł pokazuje w zwięzły sposób wykonane prace nad prototypowym rozwiązaniem, które pokazały poprawność wykrywania uderzenia pocisku na podstawie pomiaru przyspieszeń detektorem z mikrokomputerem jednokładowym. Zarejestrowane przypadki pokazały dobrą rozróżnialność sygnałów sejsmicznych pochodzących od uderzenia pocisku pomiędzy detektorami umieszczonymi w narożnikach kwadratu o boku 25 m. Sprawdzone zostały algorytmy wykrywania uderzenia pocisku oraz sprawność przesyłania raportów danych przez detektory oraz transmisja danych do odbiornika stacji kierowania. Jako kolejne etapy prac zaplanowane zostało wykonanie pełnego oprogramowania wizualizującego miejsca strzelań oraz archiwizację prowadzonych rejestracji. Kolejnym etapem prac będzie opracowanie docelowego detektora spełniającego warunki pracy na poligonie zabezpieczonego przed wpływem warunków środowiskowych.

Literatura / Literature

- [1] Grzybowski Józef, Baranowski Leszek: Wykorzystanie systemu akwizycji danych do badań dynamiki pocisków balistycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, MECHANIKA z.71, AWIONIKA t.1, V Konferencja Awioniki, Rzeszów 2007, s. 277-284.
- [2] Weiss Janusz, Baranowski Leszek: Analiza możliwości implementacji dostępnych czujników pomiarowych w rejestracji parametrów toru lotu wybranych obiektów. Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Craas 2009.
- [3] Weiss Janusz, Baranowski Leszek, Gacek Józef: Analiza parametrów lotu obiektu balistycznego przy zastosowaniu złożonego systemu pomiarowego. Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Kazimierz Dolny 2010.
- [4] Grzybowski Józef, Weiss Janusz, *Zgłoszenie patentowe pt.*: System monitorowania miejsca uderzenia pocisków balistycznych. P.41222, Urząd Patentowy RP, Warszawa, 2015.
- [5] Grzybowski Józef., *Zgłoszenie wzoru użytkowego pt.*: Detektor lokalizacji uderzenia. W.126291, Urząd Patentowy RP, Warszawa, 2016.

project is focused in data collection to prepare statistical data especially for different conditions of seismic wave propagation.

5. Conclusions

The paper presents in a concise way a prototype solution which shows that the impact of the projectile may be properly spotted at measurement of accelerations by a detector with single core microprocessor. Recorded trials have indicated a good discernibility of seismic signals originating from the impact of the projectile between the detectors placed in the corner of the square with 25 m long sides. The algorithms of projectile impact and the efficiency of transferring data reports by the detectors, and transmission of data to the control station receiver were examined. Elaboration of complete software for visualisation of the firing site and archiving the recorded data is planned for successive stages of the project. A next stage of the project will be focused on designing a final version of the detector meeting the operational field conditions and protected against environmental threats.

